Aus dem Luftfahrtmedizinischen Forschungsinstitut des Reichsluftfahrtministeriums Berlin
(Leiter: Prof. *H. Strughold*)

Die Abhängigkeit der Höhenfestigkeit von der Aufstiegsgeschwindigkeit im Tierexperiment

---

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Medizinischen Doktorwürde

an der

Friedrich-Wilhelms-Universität zu Berlin

vorgelegt von

Wolf-Dietrich Graff
Freiburg i. Breisgau

Tag der Promotion: 16. Juni 1938

Druck der Universitätsdruckerei H. Stürtz A.G., Würzburg

M 121

Gedruckt mit Genehmigung der Medizinischen Fakultät
der Universität Berlin

Dekan: Prof. Dr. *Siebeck*

Referent: Prof. Dr. *Strughold*

Korreferent: Prof. Dr. *Trendelenburg*

R. UNIV.
BIBLIOTHEEK
LEIDEN

Sonderdruck aus „Luftfahrtmedizin", 1. Band, 5. Heft

Die Frage der Abhängigkeit der Höhenfestigkeit von der Aufstiegsgeschwindigkeit gewinnt in letzter Zeit immer mehr an Bedeutung. Sie erhielt einen Auftrieb durch die vergleichenden Versuche von *H. Hartmann*[1, 2], die dieser an ein und denselben Versuchspersonen auf der Deutschen Himalaja-Expedition 1931 in Höhen bis zu 7200 m am Kangchendzönga und in der Unterdruckkammer ausführte. Aber auch innerhalb der zeitlichen Spielbreite kurzfristiger Versuche in der Unterdruckkammer ist die Geschwindigkeit der Luftverdünnung, d. h. also die Steiggeschwindigkeit für die physiologischen Erscheinungsformen der Höhenwirkung, für die „Störungsschwelle"[3] und die „kritische Höhe" nicht unwesentlich. Aus diesem Grunde ist man in letzter Zeit in der Höhenforschung dazu übergegangen, nach einem bestimmten Aufstiegsschema vorzugehen, um an Hand eines einheitlichen Höhenzeitdiagramms die Versuchsergebnisse vergleichend verwerten zu können. Daß die Einhaltung eines bestimmten Schemas notwendig ist, kann im Tierexperiment leicht nachgewiesen werden, wenn man z. B. Mäuse in der Unterdruckkammer unter verschiedenen Steiggeschwindigkeiten der Luftverdünnung aussetzt und als Anhaltspunkt für das Erreichen der *kritischen Höhe* das Auftreten von *Krämpfen* wählt. Diese sind hierfür bei Mäusen besonders geeignet, weil sie mehr oder weniger schlagartig einsetzen und somit im Höhenzeitdiagramm sehr genau erfaßt werden können. Über Serienversuche dieser Art soll im folgenden berichtet werden, da planmäßige Untersuchungen über die Beziehung der Aufstiegsgeschwindigkeit und Höhenfestigkeit nach der Literatur bisher nicht angestellt wurden, wenngleich auch Hinweise auf Einzelbeobachtungen *(Opitz* und *Tilmann*[4, 5]*)* und sonstige Hinweise *(G. S. Marshall*[6]*)* nicht fehlen.

Herrn Professor *H. Strughold* bin ich für die Anregung zu dieser Arbeit und seine Hilfe bei ihrer Durchführung zu großem Dank verpflichtet.

Methodik.

Für diese Versuche wurde eine kleine *Unterdruckkammer* benutzt, die mittels einer Wasserstrahlpumpe innerhalb 12 Min. bis auf einen Druck von 40 mm Hg gebracht werden konnte. Durch Dosierung der Frischluftzufuhr, die zugleich eine Anreicherung von Kohlensäure in der Kammer verhinderte, wurde die Schnelligkeit der Luftdruckverminderung reguliert. Es wurden folgende *Aufstiegsgeschwindigkeiten* gewählt: 4000, 2000, 1000, 500, 333, 250, 200, 100 und 60 m/Min., so daß das Steigen von einer Tausenderstufe zur nächsthöheren in

$^1/_4$, $^1/_2$, 1, 2, 3, 4, 5, 10 und 15 Min. erfolgte. Hierbei wurden zur Umrechnung der Höhe aus dem Luftdruck die Werte der Deutsch. Norm. Atm. zugrunde gelegt.

Die *Temperatur* in der Kammer wurde auf rund 20° C konstant gehalten.

Als *Versuchstiere* dienten weiße Mäuse von durchschnittlich 20 g Gewicht.

Der *Höhenkrampf*, den wir als Kriterium der Höhenfestigkeit wählten, wird eingeleitet durch eine starke motorische Unruhe mit schwerster Ataxie. Ein leichtes Zittern der Spürhaare kündigt ihn an. Die Krämpfe setzen bei einem Aufstieg von 1000 m pro 1—3 Min. wohlabgegrenzt gegenüber dem sonstigen äußeren Verhalten der Tiere schlagartig ein, begleitet von „Schnappatmen" und Entleerung der Blase. Es handelt sich um Konvulsionen, klonusartige und tetaniforme Krämpfe, die das Tier etwa 1—2 Min. lang durchschauern und es vornehmlich in Streckstellung bringen. Sie leiten rasch über in das Stadium der Paralyse und zum Exitus, sofern nicht rechtzeitig der O_2-Druck oder der Gesamtdruck bis zum physiologisch notwendigen Maß wieder erhöht wird.

Bei sehr rasch verlaufender Luftverdünnung (1000 m in $^1/_4$—$^1/_2$/Min.) ist die Abgrenzung zwischen der hierbei herrschenden hochgradigen motorischen Unruhe der Tiere und den Krämpfen schwierig. Dasselbe ist der Fall bei langsamen Steiggeschwindigkeiten, da hier die Krämpfe nach außen hin wenig merklich verlaufen, es fehlt der klonische Charakter. Daß die Heftigkeit der Höhenkrämpfe bei Ratten und Meerschweinchen mit Verlangsamung der Aufstiegsgeschwindigkeit abnimmt, wurde bereits von *Schubert*[7] berichtet. Dessenungeachtet erscheint jedoch der Höhenkrampf im Tierexperiment — bei Verwendung von Mäusen jedenfalls und innerhalb einer bestimmten Spielbreite der Aufstiegsgeschwindigkeit — als ein recht *brauchbarer Indicator* für das Überschreiten der sog. *kritischen Höhe*.

Ergebnisse.

Um einen guten Durchschnittswert zu erhalten, wurden für jeden Versuchsgang 20 männliche und 20 weibliche Tiere von rund 20 g Gewicht eingesetzt, im ganzen annähernd 400 Mäuse. Die untenstehende Tabelle bringt in den ersten beiden Stäben die Mittelwerte für die männlichen und weiblichen Tiere getrennt.

Tabelle. Die Höhenkrampfschwelle als Funktion der Aufstiegsgeschwindigkeit.

1000 m Aufstieg in Min.	Steiggeschwindigkeit		Krampfschwelle bei mm Hg		
	m/Min.	m/Sek.	♂	♀	Mittel
$^1/_4$	4000	66,6	148,4	138,4	143,0
$^1/_2$	2000	33,3	158,9	150,5	155,0
1	1000	16,6	160,0	151,0	156,0
2	500	8,03	150,6	145,8	148,0
3	333	5,5	154,0	146,6	150,0
4	250	4,02	137,5	136,1	137,0
5	200	3,3	133,3	135,5	134,0
10	100	1,67	118,4	110,2	114,0
15	66	1,1	110,0	100,0	105,0

Ein Vergleich derselben zeigt bei den Weibchen durchweg niedrigere Luftdruckwerte für die Krampfschwelle. Die Mittelwerte aus den männlichen und weiblichen zusammen sind aus dem letzten Stab der Tabelle zu ersehen. Setzt man die den Druckwerten entsprechenden Höhen ein, so erhalten wir die Kurve der nachfolgenden Abbildung. Aus ihr ersehen wir, daß die Krampfschwelle bei einem Aufstieg von 1000 m/1 Min. bei 12000 m liegt. In fast gleicher Höhe liegt sie bei 1000 m/$^1/_2$ Min. Bei noch schnellerem Aufstieg (1000 m/$^1/_2$ Min.) treten die Krämpfe etwas später auf, offenbar, weil dem Organismus noch

genügend O_2-Reserven zur Verfügung stehen. Das entspricht auch der Beobachtung von *E. Opitz* und *O. Tilmann*, wonach in Hundeversuchen mit einer Aufstiegsgeschwindigkeit von 58 mm Hg/Min. die kritische Höhe bei einem Unterdruck von 580 mm Hg erreicht wurde, während sie bei einer Geschwindigkeit von 25 mm Hg/Min. schon bei einem Unterdruck von 530 mm Hg lag. Im übrigen ist bei derartig raschen Steiggeschwindigkeiten der genaue Zeitpunkt des Einsetzens der Krämpfe — wie schon erwähnt — nicht genau erfaßbar.

Weiter zeigt die Abbildung, daß der Kurvenschenkel nach der Seite des langsameren Aufstiegs ebenfalls ansteigt. Bei 1000 m/3 Min. setzen die Krämpfe bei 12500 m ein, bei 1000 m/4 Min. etwa zwischen 12500 und 13000 m, bei 1000 m/5 Min. erst bei 13000 m. Bei 1000 m/10 Min. erreichen die Tiere eine Höhe von 14000 m und bei einem Aufstieg von 1000 m/15 Min. eine solche von mehr als 14500 m. Es wurden auch noch einige Versuche für 1000 m/20 Min. angestellt, die auf ein weiteres Höherrücken der Krampfschwelle hindeuteten. Auf ihre Wiedergabe in der Kurve wurde hier verzichtet, da wir uns auf eine geringere Anzahl von Versuchen beschränkten. Vernachlässigen wir die sehr

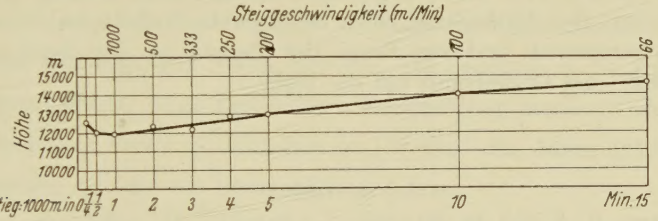

Abb. 1. Die Abhängigkeit des Eintrittes der Höhenkrämpfe (kritische Schwelle) von der Steiggeschwindigkeit, nach Untersuchungen an der weißen Maus in der Unterdruckkammer.

raschen Steiggeschwindigkeiten und gehen wir aus von 1000 m/1 Min., so ergibt sich eine Steigerung der Höhenfestigkeit um mehr als 2500 m innerhalb der Steiggeschwindigkeiten von 1000 m/1 Min. bis 1000 m/15 Min. In den beiden extremen Fällen wird hierbei z. B. die Höhe von 12000 m in 12 Min., bzw. in 3 Stunden erreicht.

Während in den bisherigen Versuchen die Luftdruckerniedrigung um immer die gleiche Höhenstrecke pro Zeiteinheit erfolgte, wurde vergleichsweise eine Versuchsserie mit folgendem Aufstiegsschema angesetzt: Es wurde begonnen mit der Steiggeschwindigkeit von 1000 m/1 Min. bis zur ersten Tausenderstufe und nun fortlaufend für jede weitere Tausenderstufe eine Minute zugesetzt, wobei die Höhe von 12000 m in 78 Min. erreicht wird. Bei diesem Versuchsverfahren lag die Krampfschwelle bei rund 120 mm Hg oder zwischen 13500 bis 14000 m Höhe. Das würde der Krampfschwelle entsprechen bei einer stetigen Steiggeschwindigkeit von 1000 m/7 Min., wobei etwa dieselbe Gesamtzeit auf den Versuch fällt.

Es liegt nicht im Rahmen dieser Untersuchungen, die Ursache des Höherrückens der Krampfschwelle bei langsamem Aufstieg im einzelnen zu erörtern. Wir wollen uns lediglich mit der Feststellung der beobachteten Tatsachen im Tierexperiment begnügen, die im Hinblick auf die besonders von *H. Hartmann* betriebenen Studien über die Höhenumstellung und Höhenanpassung von gewissem Interesse sein dürften. Das Höherrücken der Krampfschwelle ist wohl so zu deuten, daß bei langsamem Aufstieg dem Organismus mehr Zeit zur

Verfügung steht für die Kreislaufreaktionen in der Umstellungsphase, die jüngst von *O. Ranke*[8] genauer studiert wurden und die bekanntlich die Mobilisierung des Speicherblutes zum Ziele haben. Wieweit man allerdings berechtigt ist, Schlüsse aus diesen Beobachtungen am Tier zum Verhalten des Menschen zu ziehen, läßt sich zur Zeit noch nicht übersehen.

Zusammenfassung.

Unter Verwendung des Höhenkrampfes als Indicator der kritischen Höhe wurde an Mäusen die Abhängigkeit der Höhenfestigkeit von der Aufstiegsgeschwindigkeit untersucht. Als Wesentliches ergab sich hierbei, daß die kritische Höhe von 12000 m bei einem Aufstieg von 1000 m/1 Min. sich nach oben verschiebt, wenn die Luftdruckerniedrigung langsamer erfolgt. Bei einer Steiggeschwindigkeit von 1000 m/5 Min. liegt sie bei 13000 m, bei 1000 m/10 Min. bei 14000 m und bei 1000 m/15 Min. bei 14500 m. Innerhalb dieser Spielbreite der Aufstiegsgeschwindigkeit verschiebt sich also die Grenze der Höhenfestigkeit um mehr als 2500 m. Diese Ergebnisse liefern einen Beitrag zur Frage der Notwendigkeit der Einhaltung eines bestimmten Aufstiegsschemas im Unterdruckkammerversuch und zur Frage der Bedeutung des Zeitfaktors für die „Umstellung" des Organismus auf die Höhe.

Schrifttum.

[1] *Hartmann, H.:* Z. Biol. **93**, 291 (1933). — [2] *Hartmann, H.:* Luftfahrtmed. **1**, 2 (1936). — [3] *Strughold, H.:* Dtsch. Mil.arzt **2**, 71 (1937). — [4] *Opitz* u. *Tilmann:* Luftfahrtmed. **1**, 69 (1936). — [5] *Opitz* u. *Tilmann:* Luftfahrtmed. **1**, 101 (1936). — [6] *Marshall, G. S.:* J. roy. Aeronautical Soc. **37**, 389 (1933). — [7] *Schubert:* Pflügers Arch. **231**, 1 (1932). — [8] *Ranke, O.:* Luftfahrtmed. **1**, 120 (1936).

Lebenslauf.

Ich bin am 12. 12. 11 in Freiburg i. Br. als Sohn des Rechtsanwalts Dr. *Graff* und seiner Frau *Walburga*, geb. *Fasig*, geboren. Ich besuchte da die Volksschule und das Realgymnasium. Nach bestandener Reifeprüfung studierte ich Medizin an den Universitäten Freiburg, München und Berlin. Im Jahre 1935 trat ich in die Wehrmacht ein, der ich heute noch angehöre.